

Manual de experimentos

WL 362 Transmisión del Calor
por Radiación/PC

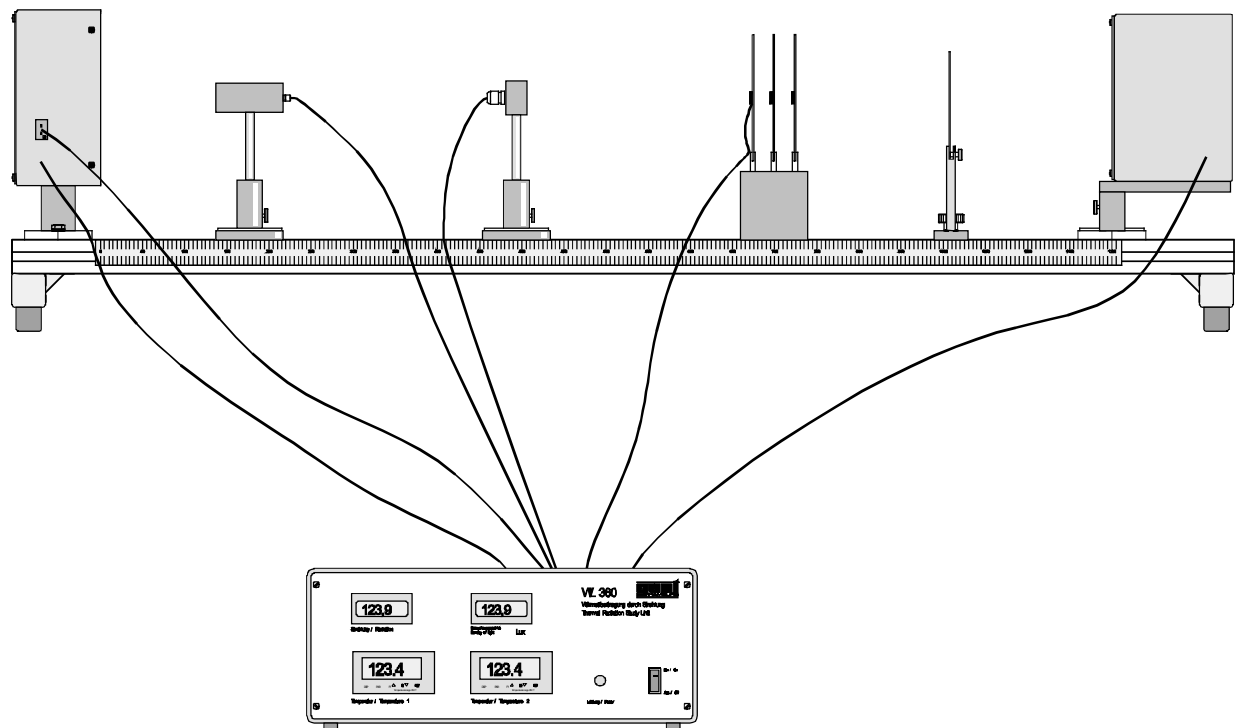
G.U.N.T. Gerätebau GmbH

Fahrenberg 14

D-22885 Barsbüttel • Alemania

Teléfono +49 (40) 670854-0

Telefax +49 (40) 670854-42



Manual de experimentos

¡Antes de la primera puesta en marcha del equipo lea atentamente las medidas de seguridad!

¡El equipo sirve exclusivamente para educación y formación así como para investigación! ¡No ha sido concebido para el uso industrial!

Indice General

1	Introducción	1
2	Descripción del equipo	2
2.1	Estructura del equipo	2
2.2	Manejo	3
2.2.1	Colocación de los componentes	3
2.2.2	Amplificador de la medición	3
2.2.3	Instalación de la estructura de medición	4
2.3	Registro de datos de medición	5
2.3.1	Montaje de la tarjeta multifuncional	5
2.3.2	Instalación del software	5
2.3.3	Manejo del software	6
3	Indicaciones de seguridad	10
4	Principios teóricos y experimentos	11
4.1	Ley de la distancia de Lambert	11
4.1.1	Realización del ensayo con un radiador térmico	12
4.1.2	Evaluación del ensayo	12
4.2	Teorema del coseno de Lambert	14
4.2.1	Realización del ensayo con una fuente de luz	14
4.2.2	Evaluación del ensayo	15
4.3	Ley de Stefan-Boltzmann	16
4.3.1	Realización del ensayo con un radiador térmico	17
4.3.2	Evaluación del ensayo	17
4.4	Otros ensayos	19
4.5	Observaciones generales sobre las mediciones	19

WL 362 Transmisión del Calor por Radiación/PC



5	Anexo	20
5.1	Datos técnicos	20
5.2	Signos de fórmula y unidades	21
5.3	Papel logarítmico de dos coordenadas para copias	22
5.4	Indice	23

1 Introducción

El equipo **WL 362 Transmisión de calor por radiación** sirve para estudiar las leyes de la radiación tomando como ejemplo la radiación de calor y de luz.

El equipo cuenta con un radiador térmico negro con una termopila que mide la intensidad de la radiación. Un luxómetro con fuente de luz registra la intensidad luminosa; los elementos térmicos miden la temperatura.

También figuran en el suministro un filtro de color y un diafragma para observar la influencia de luces de colores en la intensidad luminosa.

Para estudiar la ley de Kirchhoff se suministran distintas placas de absorción junto con los elementos térmicos.

Todos los componentes se pueden sujetar fácilmente a un bastidor.

Con la tarjeta de registro de datos de medición y el software suministrados se pueden enviar los valores medidos a un PC (no incluido en el suministro) para evaluarlos allí.

Con el equipo se pueden tratar las áreas temáticas siguientes:

- Teorema del coseno de Lambert
- Ley de la distancia de Lambert
- Ley de Stefan-Boltzmann
- Leyes de Kirchhoff (absorción, reflexión, emisión)
- Ensayos sobre la longitud de onda de la luz

2 Descripción del equipo

2.1 Estructura del equipo

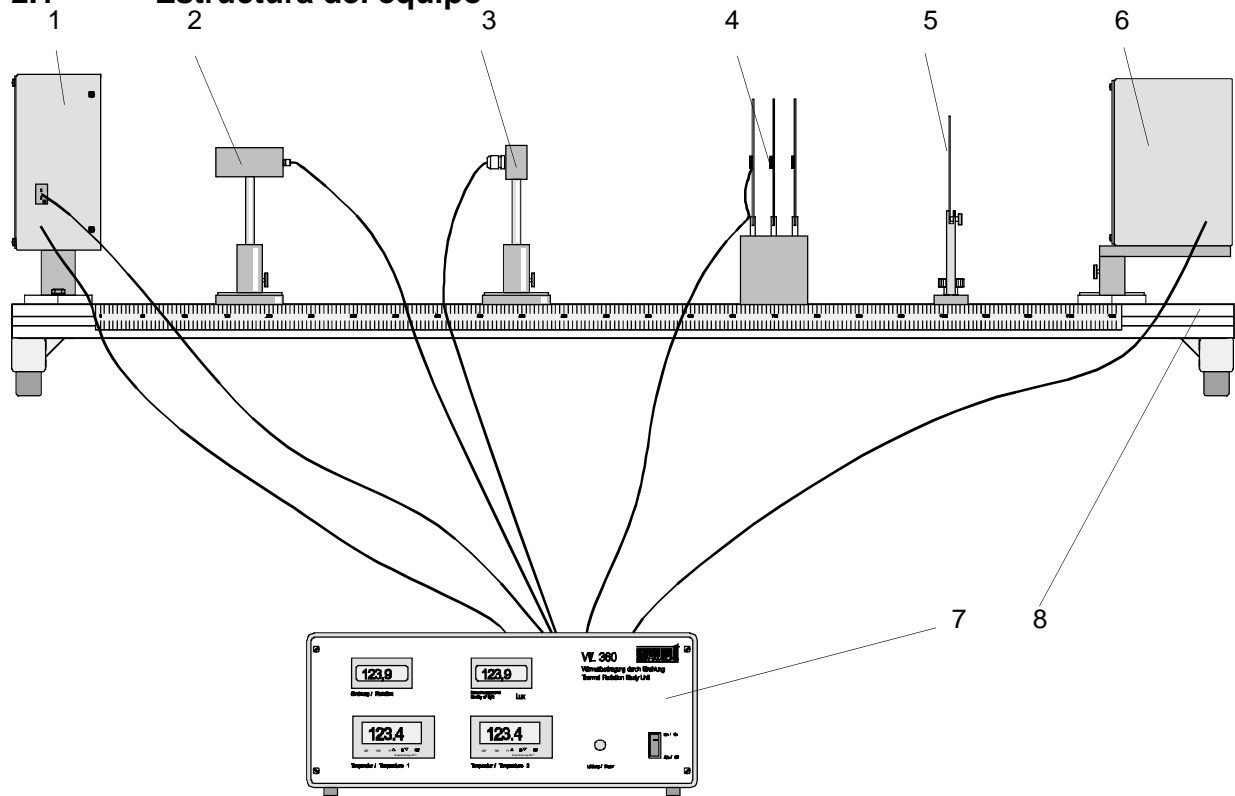


Fig. 2.1 Estructura del equipo

- Radiador térmico (1)
- Pila térmica (2) para medir la radiación, sobre soporte giratorio
- Luxómetro (3) para medir la intensidad de la luz, sobre soporte giratorio
- Placas de absorción con puntos de medición de la temperatura (4)
- Filtro de color (rojo, amarillo, infrarrojo) (5) y diafragma (no aparece en la ilustración) con soporte de pinza
- Fuente de luz orientable (6)
- Amplificador de la medición (7) con cable de conexión
- Bastidor para montar los componentes (8)

2.2 Manejo

2.2.1 Colocación de los componentes

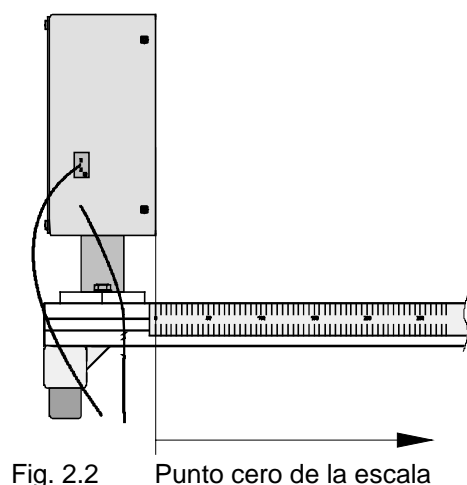


Fig. 2.2 Punto cero de la escala

El radiador térmico y la fuente de luz se fijan en el bastidor. Todos los demás elementos se pueden mover a las ranuras en forma de T de la guía AL y se pueden fijar con tornillos moleteados.

La guía AL lleva adherida una escala cuyo punto cero coincide con la salida de la radiación térmica (Fig. 2.2).

Las placas de sujeción de los componentes tienen una marca para saber la distancia de cada uno respecto a la fuente de radiación o de luz.

2.2.2 Amplificador de la medición

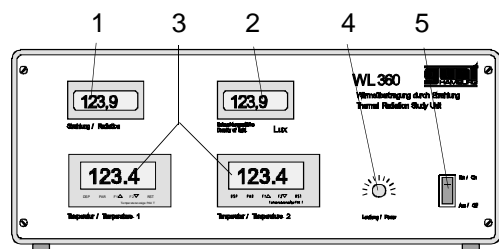


Fig. 2.3 Manejo del amplificador de la medición

El amplificador de la medición indica la **capacidad de radiación** (1) en W/m^2 , la **intensidad luminosa** (2) en lux y la **temperatura** de los elementos térmicos conectados (3) en C.

El **regulador de potencia** (4) modifica la tensión de alimentación del consumidor conectado y, en consecuencia, su potencia de salida (de forma porcentual respecto a la tensión de alimentación máxima).

El consumidor se conecta mediante un conmutador bajo carga (5).

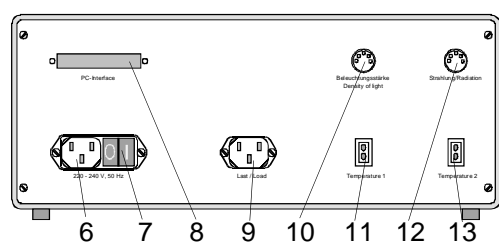


Fig. 2.4 Parte trasera del amplificador de la medición

En la parte trasera del equipo se encuentran las conexiones siguientes:

- Conexión a la red (6) con interruptor primario (7)

- Conexión para el registro de datos de medición en PC (8)
- Conexión de alimentación (9) para radiador térmico o fuente de luz
- Intensidad luminosa (10) (luz) y capacidad de radiación (12) (radiación)
- Sensores de temperatura 2 (11) y 1 (13)

2.2.3 Instalación de la estructura de medición

El equipo se ha diseñado de tal forma que con cada ensayo se utiliza, **o bien** el radiador térmico, **o bien** la fuente de luz. Por lo tanto, el cable de alimentación de tensión que se incluye en el suministro se debe enchufar al componente que vaya a utilizarse cada vez.

Se pueden medir las temperaturas siguientes:

- Temperatura de radiación en el radiador térmico
- Temperatura de las placas de absorción

Sólo se pueden utilizar dos temperaturas *a la vez*.



2.3 Registro de datos de medición

2.3.1 Montaje de la tarjeta multifuncional

La tarjeta se debe montar en el PC (no incluido en el suministro) como se describe a continuación:

- Apagar el PC y desconectar el enchufe de red.
- Abrir la torre del PC.
- Buscar una toma libre en la placa base. (Comprobar que la dirección 0320 HEX del PC aún no esté ocupada.)
- Introducir la tarjeta y atornillarla.
- Cerrar la torre del PC.
- Conectar el amplificador de la medición y la tarjeta multifuncional con el cable de cinta plana.

2.3.2 Instalación del software

El software se instala en el PC siguiendo la guía del usuario. Se deben dar los pasos siguientes:

- Encender el PC e iniciar Windows.
- Introducir el primer disquete de instalación en la disquetera.
- Abrir el Administrador de archivos de WINDOWS.
- Seleccionar la unidad de disco en la se encuentre el disquete de instalación.
- Buscar el archivo setup.exe y hacer doble clic en él para ejecutarlo.

La instalación se efectúa automáticamente. A continuación se crea un icono propio en Windows que permite iniciar el software de la aplicación.

2.3.3 Manejo del software

Cuando se inicia el software, aparece el menú principal. Con los botones (1) se puede acceder a todas las demás pantallas.

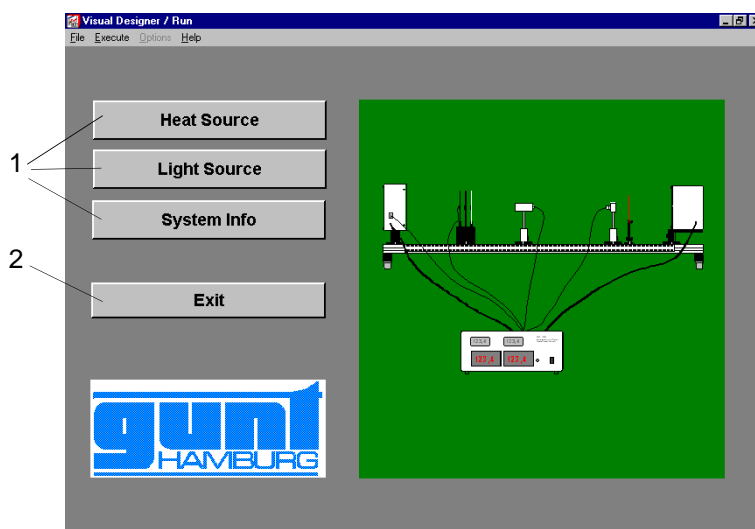


Fig. 2.5 Menú principal

Con el botón (2) se finaliza el programa.

2.3.3.1 Pantalla "System Info" (información sobre el sistema)

En esta pantalla se muestran todos los valores de medición del equipo.

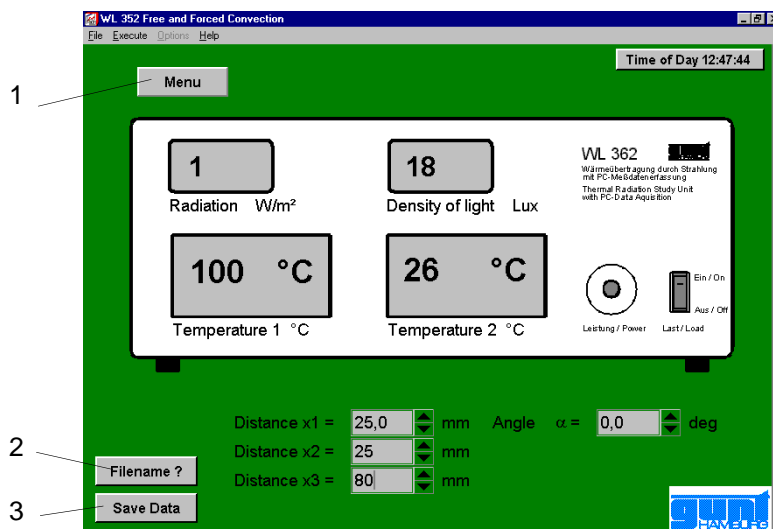


Fig. 2.6 System Info (Información sobre el sistema)

Para continuar con el tratamiento, los valores de medición se pueden guardar en un archivo del modo siguiente:

1. Seleccionar el nombre del archivo (botón 2).
 2. Indicar las distancias x_1 - x_3 y el ángulo α (estos valores no se utilizan en el software).
 3. Guardar los valores de medición (botón 3).
 4. Repetir los pasos 2-3 por cada medición.
- Con el botón 1 se regresa al menú principal.

2.3.3.2 Pantalla "Heat Source" (Fuente de calor)

En esta pantalla se pueden registrar valores de medición en conexión con la fuente de calor. Los valores de medición se guardan como en la pantalla "Systeminfo" (Información sobre el sistema)



Fig. 2.7 Heat Source (Fuente de calor)

(botones 3,4). El botón 2 lleva a la pantalla donde se comprueba la ley de la distancia de Lambert (capítulo 4.1).

2.3.3.3 Pantalla "Light Source" (Fuente de luz)

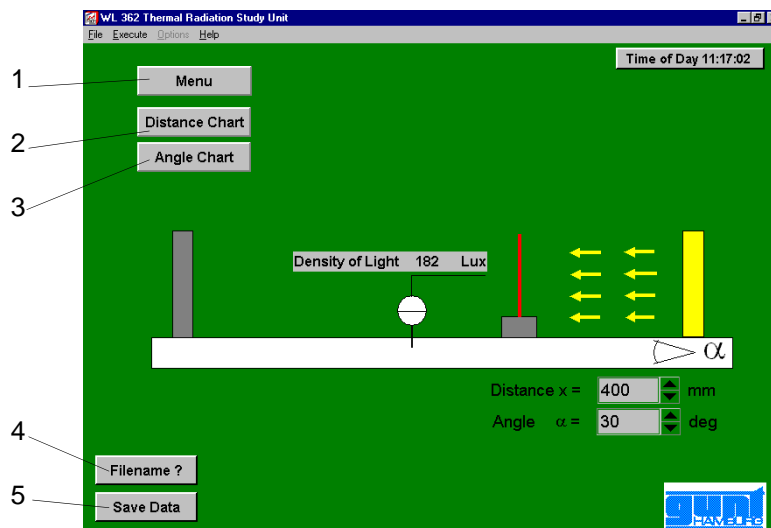


Fig. 2.8 Light source (Fuente de luz)

En esta pantalla se muestra la intensidad luminosa para ensayos con la fuente de luz y se puede indicar la distancia entre la fuente de luz y el luxómetro x, así como el ángulo de los rayos de luz incidentes α .

Los botones 2 y 3 conducen a diagramas x-y, en los que se representa la intensidad luminosa según la distancia x (Distance Chart o Diagrama de distancia), o según el ángulo α (Angle Chart o Diagrama de ángulo).

Con el botón 1 se regresa al menú principal. Los valores de medición se guardan como en la pantalla "Systeminfo" (Información sobre el sistema)(botones 4, 5).

2.3.3.4 Jerarquía de las pantallas

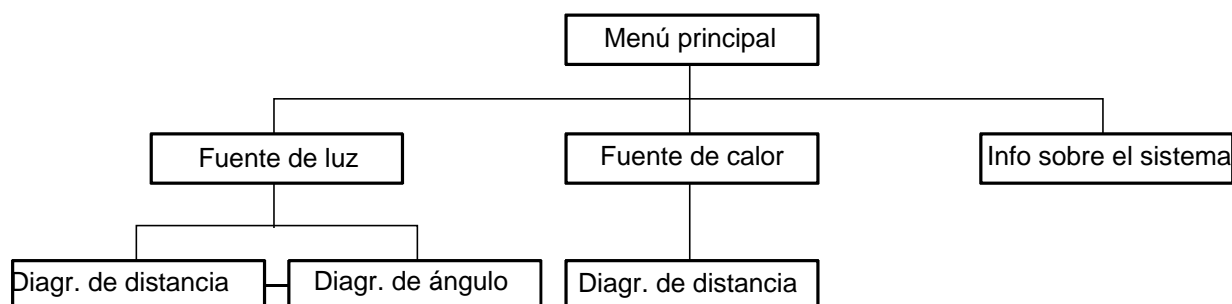


Fig. 2.9

2.3.3.5 Cómo guardar los valores de medición en un archivo

Cuando se selecciona "Filename" (Nombre de archivo), se registra un encabezado de archivo con el nombre de la pantalla, la hora actual y el orden de los datos de medición que se van a guardar. A continuación, se añaden los registros

```
//Light source - angle chart / time of day;Lux;alpha
10:41:56 209,738906860352 0
10:41:56 209,940689086914 5
10:41:56 207,620391845703 10
10:41:56 202,677032470703 15
```

Fig. 2.10 Ejemplo de archivo de datos

de datos al archivo mediante "Save Data" (Guardar datos).

Cuando se llama a otra pantalla, se añade otro encabezado de archivo antes de registrar el nuevo registro de datos.

Nombre predeterminado del archivo: WL362.afd

3 Indicaciones de seguridad



- **¡PELIGRO! ¡No abrir el amplificador de la medición!**
Peligro de descarga eléctrica.



- **¡PELIGRO! ¡La placa del radiador térmico puede alcanzar hasta 150 C de temperatura!**
¡Peligro de quemaduras si se toca la placa!



- **¡ATENCIÓN! ¡La potencia máxima de la bombilla es de 40 W!**
¡Peligro de sobrecalentamiento si se excede esta potencia!

4 Principios teóricos y experimentos

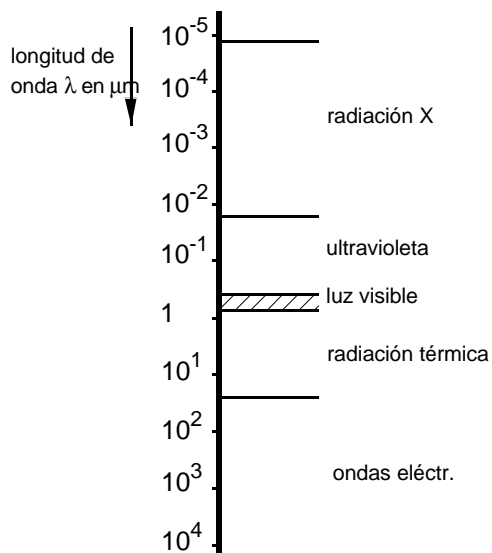


Fig. 4.1 Espectro de frecuencias de radiación electromagnética

Por **radiación térmica** se entiende la **transmisión de energía a través de ondas electromagnéticas**. Las leyes se diferencian básicamente de las de conducción del calor y la convección.

Las ondas de una radiación pueden tener distinta frecuencia. La radiación térmica se suele encontrar en el margen de frecuencia $\lambda=0,8-400 \mu\text{m}$, la luz visible en el margen $\lambda=0,35-0,75 \mu\text{m}$ (Fig. 4.1).

Los ensayos describen las leyes físicas más importantes sobre la propagación de la luz y el calor por radiación.

4.1 Ley de la distancia de Lambert

Esta ley afirma que la **capacidad de radiación** ($\hat{=}$ intensidad luminosa) de la radiación emitida por un radiador puntiforme **disminuye en el cuadrado de la distancia**:

$$E_{pdm} \sim \frac{1}{L^2} \quad (4.1)$$

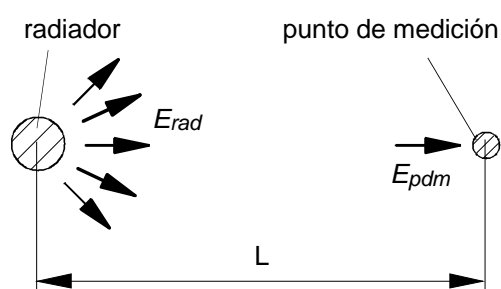


Fig. 4.2 Ley de la distancia de Lambert

Siendo

E_{pdm} - capacidad de radiación en el punto de medición

E_{rad} - capacidad de radiación del radiador

L - distancia del punto de medición del radiador puntiforme en m

Cuando se utiliza el radiador térmico en un ensayo, debería presentar una proporcionalidad cuadrática inversa.

4.1.1 Realización del ensayo con un radiador térmico

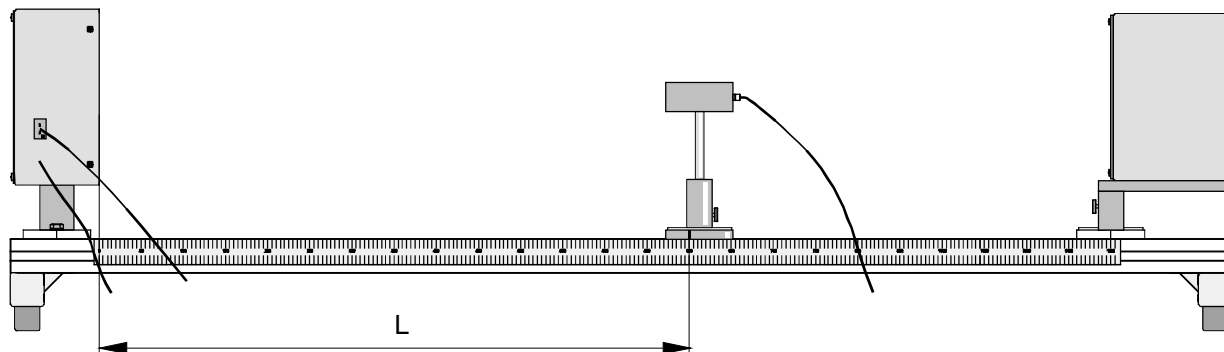


Fig. 4.3 Equipo de ensayo

- Encender el amplificador de la medición.
- Sujetar la pila térmica a una distancia $L = 600 \text{ mm}$ del radiador térmico y conectarla al amplificador de la medición (conexión de radiación: "Strahlung/Radiation"). Retirar los demás componentes.
- Encender el amplificador de la medición, el offset debería ser muy bajo (radiación ambiental).
- Conectar el radiador térmico (conexión de carga: "Last/Load") y encenderlo.
- Ajustar el regulador de potencia del amplificador de la medición a 4-5 y esperar hasta que se alcance una temperatura constante.
- Registrar una serie de medición en que la distancia L se vaya reduciendo en cantidades relevantes y en que se pueda leer la capacidad de radiación E y la distancia L cada vez.

4.1.2 Evaluación del ensayo

La Tab. 4.1 muestra un ejemplo de serie de medición. Si los valores se registran gráficamente en un **papel logarítmico de dos coordenadas** (Fig. 4.4), en el área de distancia media se obtiene una **recta**. Una recta sobre un papel logarítmico de dos coordenadas representa una relación como la siguiente:

$$E = k \cdot L^a, \quad (4.2)$$

siendo a la pendiente de la curva:

Distancia respecto a la fuente de radiación L en m	Capacidad de radiación E en W/m^2
100	138
150	135
200	134
250	133,4
300	118
350	76
400	53
450	40,2
500	30,6
550	23,4
600	17,1
650	13,5
700	13
750	12,5
800	11,8

Tab. 4.1 Consumo de capacidad de radiación del radiador térmico ($T=150\text{ }^{\circ}\text{C}$)

$$a = \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad (4.3)$$

La pendiente tiene un valor de aproximadamente $a = -2$. Esto muestra la relación cuadrática entre la capacidad de radiación E y la distancia L :

$$E \sim \frac{1}{L^2} \quad (4.4)$$

Si se supera el valor $L=700\text{ mm}$, en el área angular de la pila térmica aparecerá también radiación ambiental, lo que da lugar a radiaciones perturbadoras desde fuera del equipo.

El radiador térmico no es puntiforme, sino plano. Por debajo de $L=250\text{ mm}$, eso da lugar a una prolongación de los rayos irradiados por el radiador puntiforme en los rayos irradiados en paralelo a la superficie en este caso, lo que provoca un falseamiento de los valores de medición.

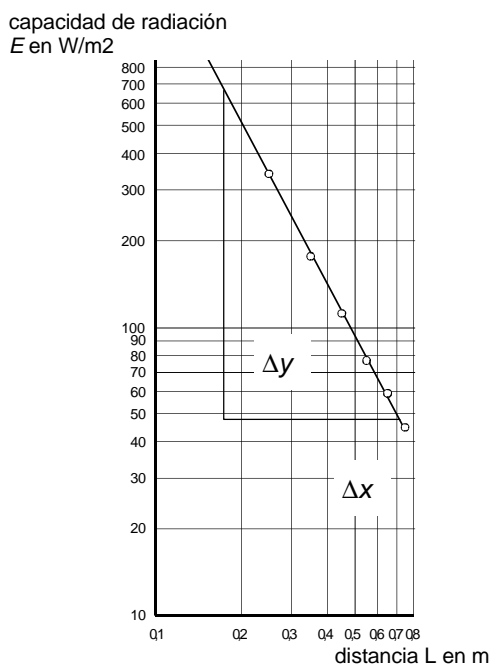
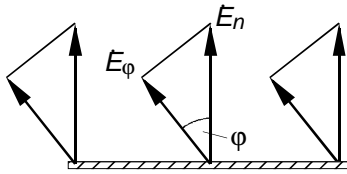


Fig. 4.4

4.2 Teorema del coseno de Lambert



La intensidad de radiación I de una radiación emitida por un elemento plano es igual en todas las direcciones. En cambio, la capacidad de radiación E disminuye con el coseno del ángulo φ :

$$E_{\varphi} = E_n \cdot \cos \varphi \quad (4.5)$$

La capacidad de radiación total se obtiene a partir de la integración de la semiesfera:

$$E = \pi \cdot E_n \quad (4.6)$$

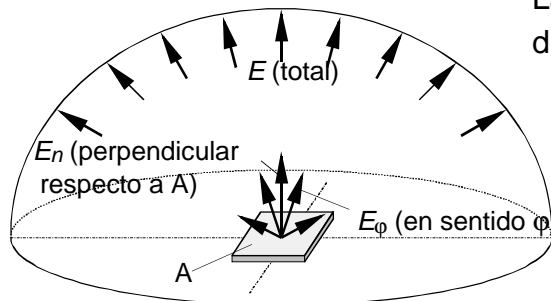


Fig. 4.5 Radiación de una superficie A

4.2.1 Realización del ensayo con una fuente de luz

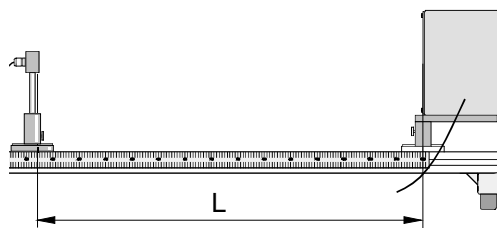


Fig. 4.6 Equipo de ensayo

Siempre que sea posible, realizar el ensayo para comprobar el teorema del coseno a oscuras:

- Encender el amplificador de la medición.
- Sujetar el luxómetro a una distancia $L = 400$ mm de la fuente de luz y conectarlo al amplificador de la medición (conexión de intensidad luminosa: "Beleuchtungsstärke/Density of Light"). Retirar los demás componentes.
- Encender el amplificador de la medición, anotar el offset que aparece (luz ambiental).
- Fijar la fuente de luz en la posición $\varphi = 0$, conectarla (conexión de carga: "Last/Load") y encenderla.
- Ajustar el regulador de potencia del amplificador de la medición al valor máximo.

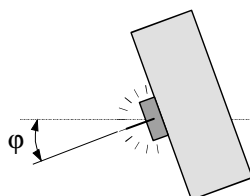


Fig. 4.7 Equipo de ensayo visto desde arriba

- Registrar una serie de medición en la que el ángulo de incidencia φ se vaya incrementando 10 cada vez (Fig. 4.7) y en la que se pueda leer la intensidad luminosa E en cada caso.

4.2.2 Evaluación del ensayo

En la Tab. 4.2 se puede ver un ejemplo de serie de medición.

ángulo de incidencia en luxómetro respecto a eje de luz	offset en lux	intensidad luminosa E en Lux	intensidad luminosa E en Lux (offset)	valor estandarizado o E (unidad 1)
0	19	206	187	1
10	18	203	185	0,99
20	18	193	175	0,94
30	19	180	161	0,86
40	19	162	143	0,77
50	20	140	120	0,64
60	20	110	90	0,48
70	20	79	59	0,32
80	21	43	22	0,12
90	20	23	3	0,02

Tab. 4.2 Intensidad luminosa según el ángulo de incidencia

Para evaluar la función coseno, los valores de medición se estandarizan y se registran en un círculo de radio 1 (Fig. 4.8). Esta clase de representación ofrece la ventaja de que las imprecisiones de lectura del ángulo de incidencia no son importantes. Las desviaciones de los valores de medición estandarizados respecto a la curva teórica (distancias perpendiculares de los puntos de medición respecto al círculo de radio 1) son extraordinariamente pequeñas. Esto confirma la validez del teorema del coseno en el ensayo.

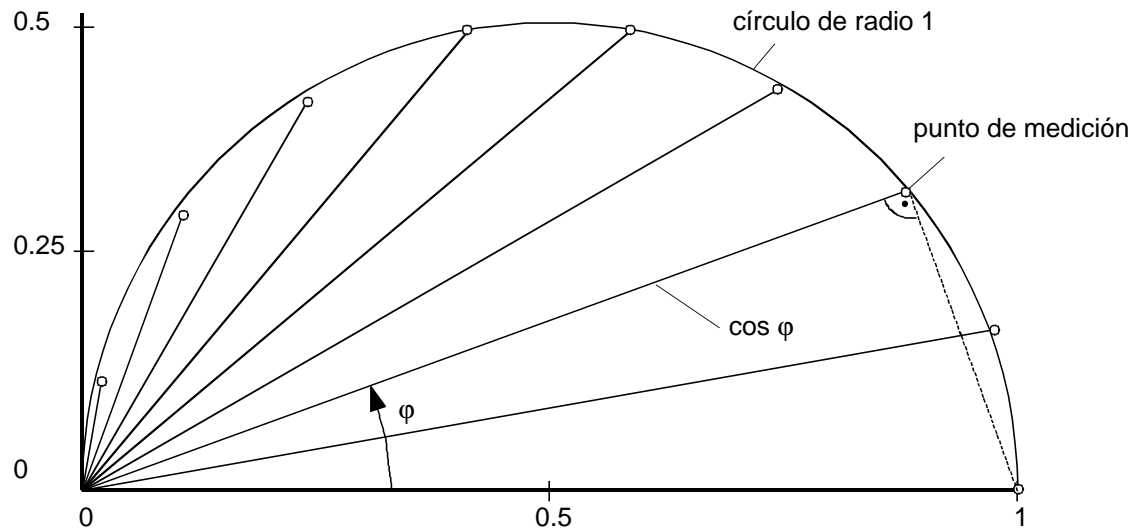


Fig. 4.8 Intensidades luminosas estandarizadas a lo largo del círculo de radio 1

4.3 Ley de Stefan-Boltzmann

La capacidad de radiación total E_s de un radiador negro es proporcional a la cuarta potencia de la temperatura de radiación T (en grados Kelvin):

$$E_s = \sigma \cdot T^4 \quad (4.7)$$

σ es una constante física llamada "constante de Stefan-Boltzmann".

Esta ley se utiliza sobre todo en su versión más "práctica":

$$E_s = C_s \left(\frac{T}{100} \right)^4 \quad (4.8)$$

siendo las constantes de radiación del cuerpo negro:

$$C_s = 5.67 \frac{W}{m^2 K^4} \quad (4.9)$$

En un ensayo realizado con el radiador térmico se comprueba esta ley mostrando la dependencia de la capacidad de radiación medida respecto a la cuarta potencia de la temperatura del radiador térmico.

4.3.1 Realización del ensayo con un radiador térmico

- Encender el amplificador de la medición.
- Sujetar la pila térmica a una distancia $L = 400$ mm del radiador térmico y conectarla al amplificador de la medición (conexión de radiación: "Strahlung/Radiation"). Retirar los demás componentes.
- Encender el amplificador de la medición, anotar el offset que aparece (radiación ambiental).
- Conectar el radiador térmico (conexión de carga: "Last/Load") y encenderlo.
- Ajustar el regulador de potencia del amplificador de la medición a 7. La temperatura empieza a subir poco a poco.
- Registrar una serie de medición en la que se anoten la temperatura y la capacidad de radiación mostrada (¡restar el offset!) cada 10 K.

4.3.2 Evaluación del ensayo

En la Tab. 4.2 se puede ver un ejemplo de serie de medición.

La ley de Stefan-Boltzmann se confirma igual que en el apartado 4.1, es decir, registrando los valores de medición en un **papel logarítmico de dos**

coordenadas (Fig. 4.9) y calculando la pendiente.

Se obtiene un valor de $a \approx 4$, es decir,

$$E_s \sim T^4 \quad (4.10)$$

Temperatura T indicada en °C	Capacidad de radiación E en W/m ²
90	15
100	24.5
110	35
120	47
130	64.5
140	83
150	111

Tab. 4.3 Dependencia de la radiación térmica de la temperatura (L=400 mm)

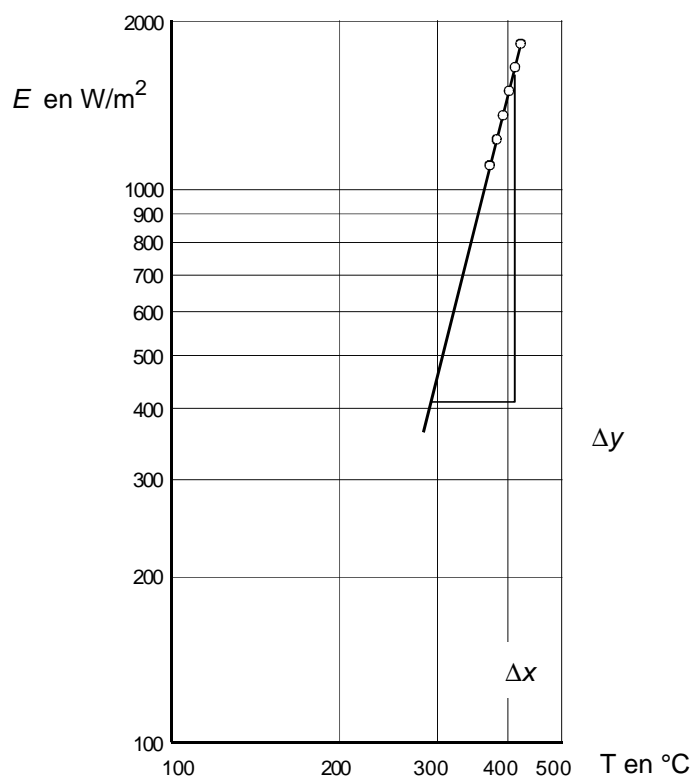


Fig. 4.9 Ley de Stefan-Boltzmann

4.4 Otros ensayos

Con las placas de reflexión se pueden realizar ensayos sobre las leyes de Kirchhoff (reflexión y absorción). Para ello los elementos térmicos montados en las placas de reflexión se deben conectar con el amplificador de la medición según se precise.

El filtro de color (verde, rojo, infrarrojo) y los diafragmas permiten realizar ensayos con la fuente de luz para determinar la intensidad luminosa de luz de colores determinados (=coeficientes de transmisión distintos). Para ello hay que sujetar los filtros con el soporte de pinza.

4.5 Observaciones generales sobre las mediciones

Para obtener resultados de medición correctos se debe tener en cuenta lo siguiente:

- La intensidad luminosa se debe medir siempre a oscuras para que la luz dispersa no influya.
- Cuando se mida la radiación, comprobar que no haya ninguna pared, aparato, etc., que irradie calor cerca de la pila térmica (detrás del radiador térmico).
- No conviene realizar los ensayos seguidos, para que la temperatura del radiador térmico se mantenga constante.

5 Anexo

5.1 Datos técnicos

Radiador luminoso

Margen de giro	0-90,	a ambos lados
Potencia de la bombilla	40	W
Superficie luminosa	0,0289	m ²
Color de la luz	blanca	

Radiador térmico

Potencia máx. de entrada	400	W
Temperatura máx.	150	C
rea de absorción	0,0320	m ²

Luxómetro

rea de medición	$\hat{=}$ 0-2.000	lux
-----------------	-------------------	-----

Elementos térmicos

rea de medición	$\hat{=}$ 0-200	C
-----------------	-----------------	---

Pila térmica

rea de medición	$\hat{=}$ 0-400	W/m ²
-----------------	-----------------	------------------

Alimentación	220 V CA	50 Hz
Consumo de potencia máx.	2	A

Dimensiones principales:

(ancho x fondo x alto)	1.460x310x384	mm
Peso	aprox. 20	kg

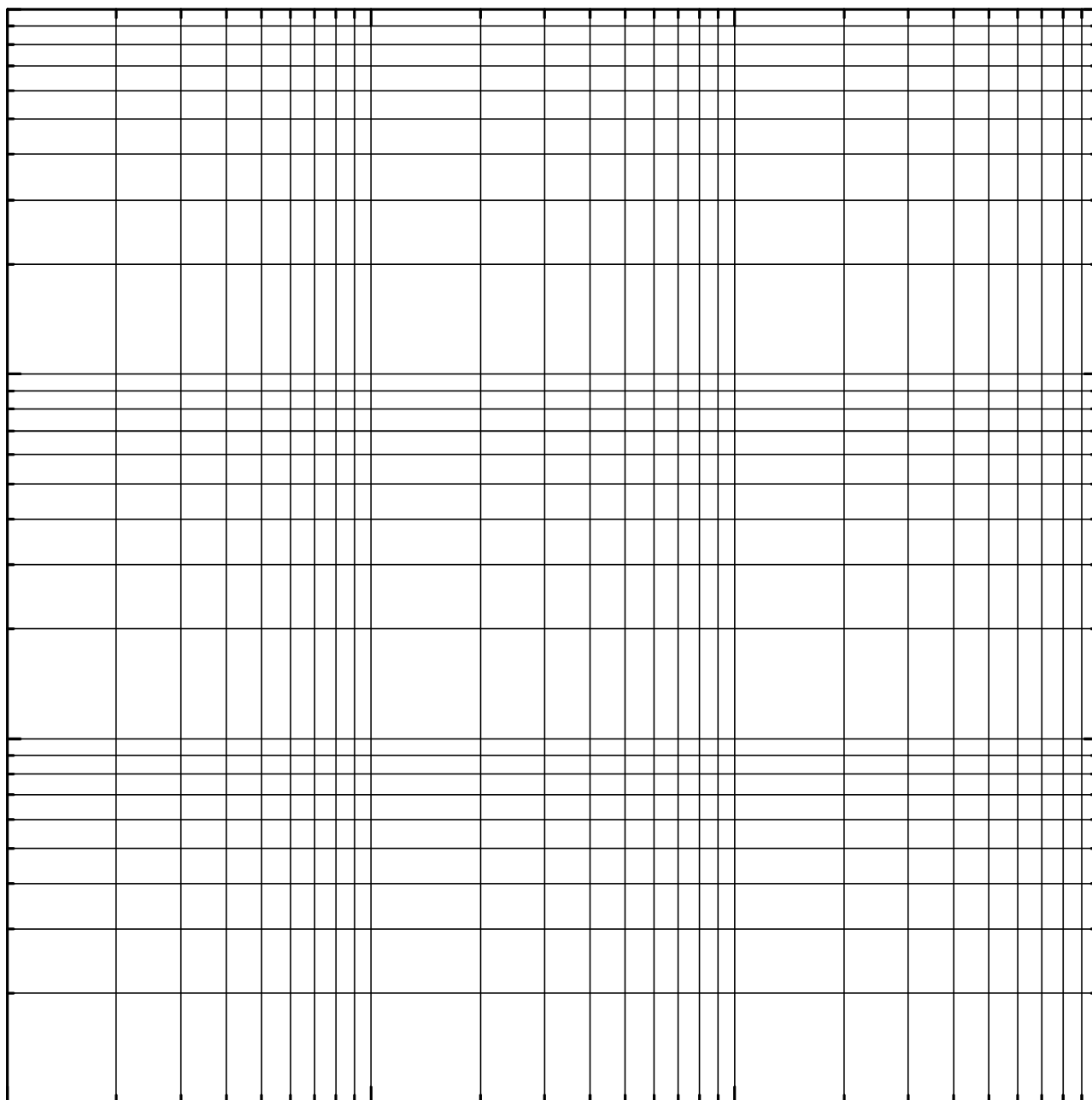
Requisitos mínimos del PC (WL 362):

- Pentium con Windows 95
- Unos 5 MB de espacio libre en el disco duro
- Tarjeta gráfica de 256 colores, 800 x 600 píxeles

5.2 Signos de fórmula y unidades

α	Coeficiente de absorción	1
C_s	Constante de radiación del cuerpo negro	$\frac{W}{m^2 K^4}$
ε	Coeficiente de emisión	1
E	Capacidad de radiación	W/m ²
E_s	Capacidad de radiación de un radiador negro	W/m ²
I	Intensidad de radiación	W
σ	Constante de Stefan-Boltzmann	$\frac{W}{m^2 K^4}$
T	Temperatura de radiación	K

5.3 Papel logarítmico de dos coordenadas para copias



5.4 Indice

A	
	absorción. 19
	amplificador de la medición 3
	área temática 1
C	
	capacidad de radiación 11
	capacidad de radiación total 14
	conducción del calor 11
	constante de Stefan-Boltzmann 16
	convección 11
E	
	elemento térmico. 20
F	
	filtro de color 19
J	
	jerarquía 9
L	
	Lambert. 11, 14
	luxómetro 14, 20
	luz 11
P	
	papel logarítmico de dos coordenadas. 12, 17, 22
	pendiente 18
	pila térmica 2, 12, 20
R	
	radiación térmica. 11
	radiador negro. 16
	radiador térmico 2
	reflexión. 19
	regulador de potencia 3
T	
	temperatura. 4